

Schema 7	유전자형	58
Schema 8	교배 양상	59
Schema 9	일부 염색체	60
Schema 10	염색체 크기	62
Schema 11	세포 그림 복합형	63

Theme 4 DNA 상대량 추론

[DNA 상대량 추론]		
Schema 1	핵상 판단	66
Schema 2	중기 세포	67
Schema 3	양극단 세포	68
Schema 4	단독 해석	69
Schema 5	정체성 부여	70
Schema 6	비교 해석	71
Schema 7	종합 해석	75
Schema 8	성염색체	77
Schema 9	포함 관계	78
Schema 10	여사건 관계	79
Schema 11	상하 관계	80
Schema 12	좌우 대응	81
Schema 13	분열 과정 간 구분	82
Schema 14	개체 간 구분	83
Schema 15	수정 과정	84
Schema 16	가족 구성원	85
Schema 17	연관 추론	86
Schema 18	미매칭 대립유전자	87
Schema 19	상대량의 합	89
Schema 20	미매칭 대립유전자의 합	91
Schema 21	상대량 종류	92
Schema 22	분열 과정의 일부	93
Schema 23	미매칭 DNA 상대량	94

Theme 5 유무 추론

[유전자 유무 추론]		
Schema 1	핵상 판단	96
Schema 2	단독 해석	98
Schema 3	인덱싱	99
Schema 4	유무 개수 제한	100
Schema 5	유전자 정렬	101
Schema 6	유전자형	102

Contents

Schema 7	상하 대응	103
Schema 8	성염색체	104
Schema 9	분열 과정 간 구분	105
Schema 10	개체 간 구분	106
Schema 11	가족 구성원	107
Schema 12	연관 추론	108
Schema 13	세포 분열 복합형	109

[염색체 유무 추론]

Schema 1	핵상 판단	110
Schema 2	염색체 판단	111
Schema 3	인덱싱	112
Schema 4	분열 과정의 일부	113
Schema 5	표의 연장	114
Schema 6	염색체 유전자 대응	115

Theme 6 형질 교배

[형질 교배]

Schema 1	완전 우성 유전	118
Schema 2	중간 유전	119
Schema 3	일반 유전	120
Schema 4	상댓값의 합	122
Schema 5	단위 확률	123
Schema 6	퍼넷 사각형	126
Schema 7	연산 법칙	127
Schema 8	연관 유전	129
Schema 9	3연관 유전	136
Schema 10	기본 교배	137
Schema 11	단위 분해	140
Schema 12	가로 표	141
Schema 13	세로 표	142
Schema 14	비중 표	143
Schema 15	일반 교배	147
Schema 16	유전자풀	154
Schema 17	조건부확률	156
Schema 18	확률의 해석	157

Theme 7 다인자 유전

[순수 다인자]

Schema 1	퍼네트 사각형	160
Schema 2	비중 표	161
Schema 3	상댓값의 합	162
Schema 4	양극단의 비	164
Schema 5	대칭성	165
Schema 6	최대 표현형 가짓수	166
Schema 7	비율 관계	167
Schema 8	벌어진 비율 관계	168
Schema 9	이항 계수	170
Schema 10	표현형 조건	171
Schema 11	유전자형 조건	172
Schema 12	중앙값	173
Schema 13	1차원 Table	174
Schema 14	차이 양상	175
Schema 15	특수한 확률	176

Theme 8 복대립 유전

[순수 복대립]

Schema 1	퍼네트 사각형	178
Schema 2	표현형 비율	179
Schema 3	표현형 종류	180
Schema 4	표현형 유무	182
Schema 5	표현형 확률	184
Schema 6	우열 분명 복대립	188
Schema 7	중간 포함 복대립	189
Schema 8	매개 상수	190

Theme 9 형질 교배 복합형

[형질 교배 복합형]

Schema 1	단일 인자 간 독립	192
Schema 2	단일 인자 간 연관 (제시)	193
Schema 3	단일 인자 간 연관 (추론)	194
Schema 4	단일 다인자 독립	195
Schema 5	중간 다인자 연관	196
Schema 6	완전 우성 다인자 연관	198
Schema 7	일반 다인자 연관	201
Schema 8	복대립 다인자 연관	202



Contents

Schema 9	다인자 다인자 독립	203
Schema 10	반성 다인자	204
Schema 11	다인자 다인자 연관	205
Schema 12	매개 문자	206
Schema 13	복합 염색체 2쌍	207

Theme 10 기본 가계도

[기본 가계도]

Schema 1	표기법 정의	210
Schema 2	우열의 원리	211
Schema 3	유전자형	212
Schema 4	상증명	213
Schema 5	상증명의 역이용	214
Schema 6	우열 무관 상증명	215
Schema 7	1종류 대립유전자	216
Schema 8	단독 해석	217
Schema 9	병렬 해석	218
Schema 10	종합 해석	220
Schema 11	확률 계산	222
Schema 12	유전자풀	223
Schema 13	유전자 흐름	224
Schema 14	미매칭 구성원	226
Schema 15	미매칭 대립유전자	227
Schema 16	미매칭 DNA 상대량	228
Schema 17	상대량의 합	229
Schema 18	미매칭 상대량의 합	230

Theme 11 심화 가계도

[심화 가계도]

Schema 1	표기법 정의	232
Schema 2	결정된 정보	235
Schema 3	반성 연관	237
Schema 4	추가 조건	242
Schema 5	연관 귀류	246
Schema 6	좌우 분리	247
Schema 7	동일 양상	249
Schema 8	열성 염색체 흐름	251
Schema 9	표현형 동일 구성원	255
Schema 10	표현형 다른 구성원	256

DNA 상대량 추론
Schema 6

비교 해석

- 3) 같은 대립유전자 줄 내에서 상위 세포의 DNA 상대량이 0이면
하위 세포의 DNA 상대량은 모두 0이다.

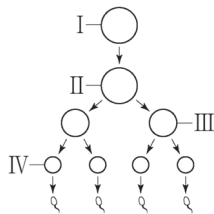
대립유전자 세포	A	a	B	b	D	d	E	e	F	f
㉠ : G ₁ 기	1	1	2	0	1	0	0	1	1	0
㉡ : M ₁ 기	2	2	4	0	2	0	0	2	2	0
㉢ : M ₂ 기 - X	2	0	2	0	2	0	0	2	0	0
㉣ : M ₂ 기 - Y	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0
㉤ : 생식 세포 - X	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
㉥ : 생식 세포 - Y	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0

[부분집합 명제]

⇒ 핵상이 2n인 세포에서 DNA 상대량이 0이면
하위 세포들에서 모두 DNA 상대량이 0이다.

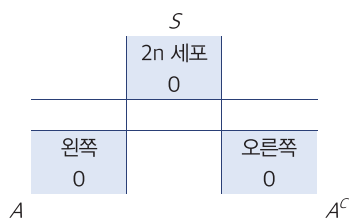
⇒ 2n인 세포 2개, 좌우 영역이 다른 n인 세포 2개를 대응해야 하는 상황에서
0이 2개 존재하면 나머지 열 내 요소도 모두 0이다.

[예] ㉠~㉥은 I ~ IV를 순서 없이 나타낸 것



대립유전자 세포	A	a	B	b	D	d	E	e	F	f
㉠	1	1	2	0	1	0	0	1	1	0
㉡	2	2	4	0	2	0	0	2	2	0
㉢	2	0	2	0	2	0	0	2	0	0
㉥	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0

∴ 3 중 2 0이면 여사건 0



DNA 상대량 추론
Schema 6

비교 해석

- 4) 같은 대립유전자 줄 내에서 상위 세포의 DNA 상대량이 최댓값이면
하위 세포의 DNA 상대량은 모두 최댓값이다.

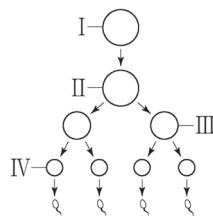
특징 세포	A	a	B	b	D	d	E	e	F	f
㉠ : G ¹ 기	1	1	2	0	1	0	0	1	1	0
㉡ : M ₁ 기	2	2	4	0	2	0	0	2	2	0
㉢ : M ₂ 기 - X	2	0	2	0	2	0	0	2	0	0
㉣ : M ₂ 기 - Y	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0
㉤ : 생식세포 - X	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
㉥ : 생식세포 - Y	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0

핵상이 $2n$ 세포에서 DNA 상대량이 최댓값이면
하위 세포들에서 모두 DNA 상대량이 최댓값이다.

[부분집합 명제]

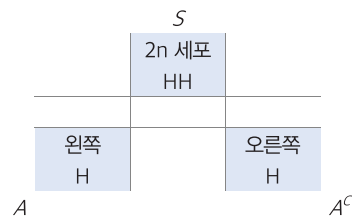
⇒ 상태가 $2n$, 2 세포에서 상대량이 20이면, 열 내에 상대량 0이 나타나지 않고
상대량이 4인 Cell이 있는 열 내에 상대량 0이 나타나지 않는다.

[예] ㉠~㉥은 I ~ IV를 순서 없이 나타낸 것]



대립유전자 세포	A	a	B	b	D	d	E	e	F	f
㉠	1	1	2	0	1	0	0	1	1	0
㉡	2	2	4	0	2	0	0	2	2	0
㉢	2	0	2	0	2	0	0	2	0	0
㉤	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0

∴ 유전자형이 동형 접합성이면 좌우 모두 유전자 전달



DNA 상대량 추론
Schema 8

성염색체

[중요도 ★★★]

- 성염색체 위 DNA 상대량은 상염색체 위 DNA 상대량과 다소 다른 양상을 나타낸다.

- ㉠ 어떤 세포에 대립유전자쌍 DNA 상대량 합이 2와 1이 공존하면

합이 2인 대립유전자 쌍은 상염색체에 있는 대립유전자 쌍

합이 1인 대립유전자 쌍은 성염색체에 있는 대립유전자 쌍이며

㉠은 $2n$, 2인 남자의 세포이다.

또한 합이 1인 대립유전자 쌍은 반드시 “남자”의 세포이다.

여자의 세포에서는 합이 4, 2, 0인 대립유전자 쌍만 나타난다.

- ㉡ 어떤 세포에 대립유전자쌍 DNA 상대량 합이 4와 2가 공존하면

합이 4인 대립유전자 쌍은 상염색체에 있는 대립유전자쌍

합이 2인 대립유전자 쌍은 성염색체에 있는 대립유전자쌍이며

㉡은 $2n$, 4인 남자의 세포이다.

- DNA 상대량이 (0, 0)이면 해당 대립유전자 쌍은 ㉢ 성염색체 위에 있다.

이때 해당 대립유전자가 여자의 세포에 있음이 입증되면 ㉢은 X 염색체이다.

+) (대립유전자 0종류)

여자의 대립유전자 쌍 내 DNA 상대량이 (0, 0)이면

해당 대립유전자 쌍은 남자의 대립유전자 쌍이고 Y염색체에 있는 대립유전자쌍이다.

대립유전자 세포	A	a	B	b	D	d	E	e	F	f
㉠ : G_1 기	1	1	2	0	1	1	2	0	0	0
㉡ : M_1 기	2	2	4	0	2	2	4	0	0	0
㉢ : M_2 기	2	0	2	0	2	0	2	0	0	0
㉣ : 생식세포	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0

남자의 대립유전자 쌍 내 DNA 상대량이 (0, 0)이면

해당 대립유전자 쌍은 여자의 대립유전자 쌍이고 성염색체(X 또는 Y)에 있는 대립유전자쌍이다.

또한 어떤 세포에서 (0, 0)이 X염색체에 있는 대립유전자 쌍의 DNA 상대량이라면

상동 염색체의 분리가 일어난 후 대립유전자 쌍에서 (0, 0)이 나타나므로

핵상은 반드시 n 이고 남성의 세포이다.

- 성염색체에 있는 대립유전자 쌍 내 DNA 상대량이 (1, 1)이면 해당 대립유전자 쌍은

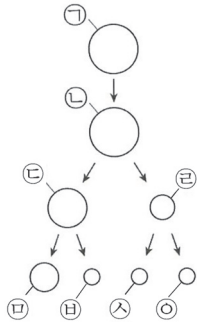
X염색체 위에 있고, 개체의 성별은 여성이며 세포는 G_1 기 세포이다.

DNA 상대량 추론
Schema 19

상대량의 합

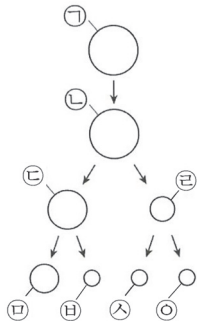
[중요도 ★★★]

- ㉠과 ㉡을 구성하는 DNA 상대량 값은 0, 2, 4 중 하나이다.
따라서 M₁ 중기 세포나 M₂ 중기 세포의 DNA 상대량 합은 항상 짝수이다.



세포	특징	핵상	DNA 상대량			
			A	a	B	b
㉠ : G ₁ 기		2n	1	1	0	2
㉡ : M ₁ 중기		2n	2	2	0	4
㉢ : M ₂ 중기		n	0	2	0	2
㉣ : M ₂ 중기		n	2	0	0	2
㉤ : 생식 세포		n	0	1	0	1

- ㉠이나 ㉡의 DNA 상대량 합은 항상 짝수이고
㉢이나 ㉣에서 DNA 상대량 합으로 홀수가 가능하므로
DNA 상대량의 합이 홀수이면 G₁ 세포 또는 생식세포이다.



세포	특징	핵상	DNA 상대량			
			A	a	B	b
㉠ : G ₁ 기		2n	1	1	0	1
㉡ : M ₁ 중기		2n	2	2	0	2
㉢ : M ₂ 중기		n	0	2	0	2
㉣ : M ₂ 중기		n	2	0	0	0
㉤ : 생식 세포		n	0	1	0	1

이때 두 대립유전자 ㉤와 ㉥의 DNA 상대량 합이 3이라면 2 + 1의 꼴이므로
G₁ 세포임을 알 수 있고, ㉤와 ㉥는 서로 대립유전자 관계가 아니다.

⇒ DNA 상대량의 합이 주어진다면 짝수보다는 홀수가
자료 해석의 시작점으로 잡기 더 적절하다.

합 짝수는 G₁ 세포, M₁, M₂ 세포에서 나올 수 있고

합 홀수는 G₁ 세포, 생식세포에서 나올 수 있어 경우의 수가 상대적으로 더 적어 자료 해석
의 우선순위에 둘 수 있다.

유전자 유무 추론
Schema 1

핵상 판단

[중요도 ★★★]

DNA 상대량과 유사하게 핵상 판단이 중요한 요소로 작용한다.
X염색체만 있는 경우와 X염색체와 Y염색체가 모두 있는 경우가 다소 다르지만
‘O’가 절반을 초과하면 핵상이 2n이고, 대체로 절반 미만이면 핵상은 n이다.

[공통]

- 1) 어떤 세포에서 유전자 유무 여부가 ‘O’가 절반보다 많으면 핵상은 2n이다.
- 2) 비교 해석 시 유무 여부가 ‘x’가 하나라도 있으면 핵상은 n이다.

[X염색체만 있을 때]

- 1) 어떤 세포에서 유전자 유무 여부가 ‘O’가 대립유전자 쌍으로 있으면 핵상은 2n이다.
- 2) 어떤 세포에서 유전자 유무 여부가 ‘O’가 절반보다 적으면 핵상은 n이다.

[유전자형이 Aabb인 암컷 개체]

세포	특징	핵상	핵 1개당 DNA 상대량	유전자형	유전자 유무			
					A	a	B	b
㉠ : G ₁ 기		2n	2	Aa	○	○	×	○
㉡ : M ₁ 중기		2n	4	Aa (× 2)	○	○	×	○
㉢ : M ₂ 중기		n	2	AA 또는 aa	×	○	×	○
㉣ : M ₂ 중기		n	2	aa 또는 AA	○	×	×	○
㉤ : 생식세포		n	1	A 또는 a	×	○	×	○

전체 유전자 중 절반보다 많은 유전자를 갖고 있는 세포는 핵상이 2n인 세포이다.
이는 적어도 한 쌍의 대립유전자를 갖고 있다는 방증이기 때문이다.

상동 염색체가 쌍으로 있으면 2n인 세포
개체가 갖는 유전자 중 하나라도 없으면 n인 세포이다.

[유전자형이 AaX^bY인 수컷 개체]

세포	특징	핵상	핵 1개당 DNA 상대량	유전자형	상염색체 위		X염색체 위		
					A	a	B	b	Y
㉠ : G ₁ 기		2n	2	Aa	○	○	×	○	○
㉡ : M ₁ 중기		2n	4	Aa (× 2)	○	○	×	○	○
㉢ : M ₂ 중기		n	2	AA 또는 aa	×	○	×	○	×
㉣ : M ₂ 중기		n	2	aa 또는 AA	○	×	×	×	○
㉤ : 생식세포		n	1	A 또는 a	×	○	×	×	○

2n 세포가 제시된 대립유전자를 모두 갖고 있지 않은 경우
Aabb와 같이 동형 접합성이 있거나, AabY와 같이 성염색체 위 유전자가 있기 때문이다.

유전자 유무 추론
Schema 1

핵상 판단

[유전자형이 AaX^bY 인 수컷 개체]

세포	특징	핵상	핵 1개당 DNA 상대량	유전자형	상염색체 위		성염색체 위		
					A	a	B	b	Y
① : G_1 기		$2n$	2	Aa	○	○	×	○	○
② : M_1 중기		$2n$	4	$Aa (\times 2)$	○	○	×	○	○
③ : M_2 중기		n	2	AA 또는 aa	×	○	×	○	×
④ : M_2 중기		n	2	aa 또는 AA	○	×	×	×	○
⑤ : 생식세포		n	1	A 또는 a	×	○	×	×	○

전체 유전자 중 절반보다 적은 유전자를 갖고 있는 세포는
핵상이 n 인 세포이면서 ○가 있는 대립유전자는 상염색체 위 대립유전자이다.

또한 ⑤ 성염색체 위 유전자가 세포에 존재하고
남녀에서 모두 ⑤이 있다면 핵상이 n 일 때
Y 염색체가 있어야 (×,×)가 나타나므로 세포를 갖는 개체의 성별은 남성이다.

즉, 절반 미만인 세포에서 “남녀가 모두 있는 대립유전자라면” 다음을 파악할 수 있다.

- 1) ○가 있는 대립유전자는 상염색체 위 대립유전자
- 2) ×가 있는 대립유전자 중 성염색체 위 대립유전자 있음
- 3) 핵상은 n 인 세포
- 4) Y 염색체가 있는 세포

형질 교배
Schema 4

상댓값의 합

[중요도 ★★★]

- 이형 접합성 개체는 생식세포를 2종류 만들어낼 수 있다.
- 상댓값의 합으로 이형 접합성의 수를 역추론 할 수 있다.

(전제 : 독립 유전)

① 상댓값의 합이 2의 2승이면 부모에 있는 이형 접합성의 개수는 2이다.

[완전 우성 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

[중간 유전의 형질 교배]

	표현형 가짓수	AA : Aa : aa	상댓값의 합
AA × AA	1	1 : 0 : 0	1
AA × aa	1	0 : 1 : 0	1
aa × aa	1	0 : 0 : 1	1
AA × Aa	2	1 : 1 : 0	2
Aa × aa	2	0 : 1 : 1	2
Aa × Aa	3	1 : 2 : 1	4

② 상댓값의 합이 2의 1승이면 부모에 있는 이형 접합성의 개수는 1이다.

③ 상댓값의 합이 2의 0승이면 부모에 있는 이형 접합성의 개수는 0이다.

[중요도 ★★★]

- 약분을 고려하지 않을 때 단위 확률의 분자에 올 수 있는 값은 0, 1, 2, 3, 4
단위 확률의 분모 값은 항상 4이다.

- 한 쌍의 상동 염색체가 교배할 때 등장하는 모든 경우의 수가 4이다.

- 확률의 분모 값이나 표현형이 5 이상이 등장할 경우
2 Pair 이상의 단위 교배가 관여한다.

한 쌍의 상동 염색체 간 교배를 단위 교배

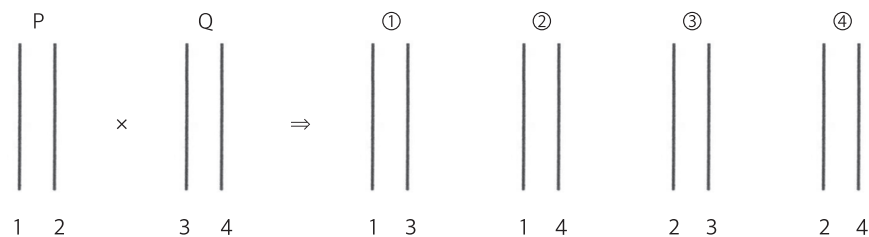
한 쌍의 상동 염색체 간 교배에서 나타날 수 있는 확률을 단위 확률이라 정의하자.

약분을 고려하지 않을 때

단위 확률의 분자에 올 수 있는 값은 0, 1, 2, 3, 4

단위 확률의 분모 값은 항상 4이다.

이는 한 쌍의 상동 염색체가 교배할 때 등장하는 모든 경우의 수가 4이기 때문이다.




형질 교배

형질 교배
Schema 7
연산 법칙

유전자형이 AaBb인 식물 개체 P의 교배를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = 9 : 3 : 3 : 1$

	생식세포 생식세포	AB	Ab	aB	ab
	AB	A_B_	A_B_	A_B_	A_B_
	Ab	A_B_	A_bb	A_B_	A_bb
	aB	A_B_	A_B_	aaB_	aaB_
	ab	A_B_	A_bb	aaB_	aabb
유전자 좌위		퍼넷 사각형			

이때 교배 양상을 $(A + a) \times (A + a) \times (B + b) \times (B + b)$ 와 같이 더하기와 곱하기로 나타낼 수 있다. 이는 분리 법칙과 독립 법칙이 성립하기 때문이다.

또한 연산에서 분배법칙과 결합법칙이 성립하므로 교배의 순서는 자유롭다.

따라서 다음과 같이 한 형질의 유전자형을 토대로 새로운 교배 표를 작성할 수 있다.

생식세포 생식세포	BB	Bb	Bb	bb
AA	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb
Aa	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb
Aa	A_B_	A_B_	A_B_	A_bb
aa	aaB_	aaB_	aaB_	aabb
변형된 퍼넷				

	비중	1	2	1
비중	유전자형	BB	Bb	bb
	유전자형			
1	AA	A_B_	A_B_	A_bb
2	Aa	A_B_	A_B_	A_bb
1	aa	aaB_	aaB_	aabb
비중 표				

변형된 퍼넷은 유전자형 분포가 정갈하다는 장점이 있고
비중 표는 변형된 퍼넷의 장점은 유지하면서 칸 수가 더 적다는 장점이 있다.

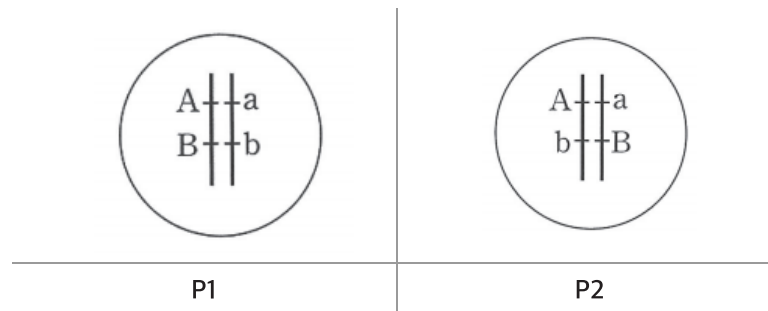
형질 교배

형질 교배
Schema 10

기본 교배

[Case 3 - 상인×상반]

$$A_B_ : A_bb : aaB_ : aabb = 2 : 1 : 1 : 0$$



생식세포 생식세포	Ab	aB
AB	A_B_	A_B_
ab	A_bb	aaB_

퍼넷 사각형

- 교배 양상에서 상동 염색체가 부모에 2쌍씩 있을 때 복합 확률 or 복합 표현형 종류에서 단위 확률 및 연관 상태를 역추적할 수 있어야 한다.

예 복합 확률 $\frac{9}{16}, \frac{3}{8}, \frac{3}{16}$, 단위 표현형 4종류, 6종류

형질 교배
Schema 10

기본 교배

[기본 교배 - 3연관 유전]

		교배 양상						자손의 표현형 가짓수	단위 표현형 확률
Case 1	인인×인인	1	0		1	0		2종류	$\frac{3}{4}, \frac{1}{4}$
		1	0	×	1	0			
		1	0		1	0			
Case 2	인인×인반	1	0		1	0		3종류	$\frac{1}{2}, \frac{1}{4}$
		1	0	×	1	0			
		1	0		0	1			
Case 3	인반 ₁ ×인반 ₁	1	0		1	0		3종류	$\frac{1}{2}, \frac{1}{4}$
		1	0	×	1	0			
		0	1		0	1			
Case 4	인반 ₁ ×인반 ₂	1	0		1	0		4종류	$\frac{1}{4}$
		1	0	×	0	1			
		0	1		1	0			

이때 [Case 1 ~ 3]은 다음과 같이 생각하면 2연관과 동일하게 해석할 수 있다.

		교배 양상						자손의 표현형 가짓수	단위 표현형 확률
Case 1	인인×인인	2	0		2	0		2종류	$\frac{3}{4}, \frac{1}{4}$
		1	0	×	1	0			
Case 2	인인×인반	2	0		2	0		3종류	$\frac{1}{2}, \frac{1}{4}$
		1	0	×	0	1			
Case 3	인반 ₁ ×인반 ₁	2	0		2	0		3종류	$\frac{1}{2}, \frac{1}{4}$
		0	1	×	0	1			

형질 교배
Schema 11

단위 분해

[중요도 ★★★]

- 표현형 가짓수가 5 이상이 나왔을 경우 두 연관군의 이동 또는 두 형질 이상의 관여로 간주하여 표현형 가짓수를 단위 분해할 수 있다.

(\because 한 단위 교배에서는 4 이하의 가짓수만 등장한다.)

- 표현형 확률의 분모가 8 이상의 숫자가 나왔을 경우 두 연관군의 이동 또는 두 형질 이상의 관여로 간주하여 표현형의 확률을 단위 분해할 수 있다.

(\because 한 단위 교배에서는 4 이하의 분모만 등장한다.)

- 염색체 쌍의 수 = 단위 표현형 or 단위 확률의 갯수 이다.

예) 표현형 가짓수가 6가지, 서로 다른 2개의 상염색체

$$\Rightarrow 6 = 3 \times 2$$

예) 표현형 가짓수가 6가지, 서로 다른 3개의 상염색체

$$\Rightarrow 6 = 3 \times 2 \times 1$$

예) 표현형 확률 $\frac{3}{16}$, 형질 ①~④, ①~③은 같은 상염색체, ④는 다른 상염색체

$$\Rightarrow \frac{3}{16} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$$

P		Map	Q	단위 확률
1	0		0	$\frac{1}{4}$
1	0		1	
0	1		0	
1	0		1	$\frac{3}{4}$

-단위 분해는 ㉞ 한 염색체 간 교배를 기준으로 한다.

이때 ㉞는 독립 염색체일수도, 연관 염색체일수도, 3연관 염색체일 수도 있다.

다인자 유전
Schema 9

이항 계수

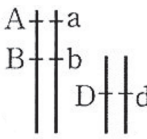
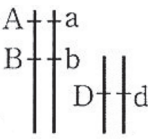
[중요도 ★★]

- 다인자 독립 상황에서 등장하는 비율 관계는 이항분포의 비율 관계를 따르는 것처럼
다인자 연관 상황에서 등장하는 비율 관계는 x 에 대한 이항 계수의 비율 관계를 따른다.

이때 대문자 수와 x 의 차수의 관계는 x 의 차수 = $x^{\text{대문자 수}}$ 이다.

- 분리 법칙에서 각 항이 움직일 확률은 $\frac{1}{2}$ (1: 1)로 동일하므로
 $2/0$ 은 $x^2 + 1$ 로, $1/0$ 은 $x + 1$ 로, $1/1$ 은 $x + x$ 로 나타낼 수 있다.

[상인 × 상인 : 대문자 수 차이가 있는 염색체 4쌍]

	상인 연관		상인 연관
연관 상태			
표기	$x^2 + 1$		$x^2 + 1$
	차이 있음 대문자 차이 -2		차이 있음 대문자 차이 -2
	$x + 1$		$x + 1$
	차이 있음 대문자 차이 -1		차이 있음 대문자 차이 -1
다항식	$(x^2 + 1)(x^2 + 1)(x + 1)(x + 1)$		
수식	$\triangle 2 \times 2 + \triangle 1 \times 2$		

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	3	4	3	2	1
상댓값의 합	16						
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 4쌍						
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 6 = 부모가 갖는 차이의 총합						

[중요도 ★★★]

- 붙어있는 비율 관계에서 총 Δ = 표현형 종류 - 1이고
벌어진 비율 관계에서 총 Δ 는 표현형 종류 - 1보다 크다.

\therefore 총 Δ 는 최대 표현형 종류 - 1 이상이다.

- 표현형 확률 조건이 주어지면

- ① 분자 (소인수),
- ② 분모 (상댓값의 합)
- ③ 확률 값 (특수한 확률, 단위 분해) 을 적절히 활용해서 해석할 수 있다.

- 다인자 교배 양상은 다항식 연산과 유사하므로
독립 연관에 무관하게 부모 대문자 수의 평균은 자녀 대문자 수의 평균과 동일하다.

부모의 표현형이 자녀에게 나타나지 않는 경우,
부모의 표현형이 같을 경우에는 연관, 벌어진 비율 관계여야 하고
부모의 표현형이 다를 경우에는 *Max* 조건이나 유전자 쌍 수를 활용하여
 Δ 의 범위를 압축한 후 추가 조건으로 좁혀나가도록 하자.

	표현형 대문자 수				
부모 표현형			[3]		
자녀 표현형	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
자녀 비율	1	1	0	1	1

	표현형 대문자 수				
부모 표현형	[1]				[5]
자녀 표현형		[2]	[3]	[4]	
자녀 비율	0	1	2	1	0

표현형 동일

	표현형 대문자 수			
부모 표현형	[1]			[4]
자녀 표현형	[1]	[2]	[3]	[4]
비율	0	1	1	0

표현형 다른 연관

표현형 다른 독립

	표현형 대문자 수			
부모 표현형		[2]	[3]	
자녀 표현형	[1]	[2]	[3]	[4]
비율	1	0	0	1

표현형 다른 3연관

- 부모 중 한 명의 표현형과 동일한 자녀가 나타나면
다른 여사건 구성원의 표현형과 동일한 자녀 또한 나타나고

부모 중 한 명의 표현형과 동일한 자녀가 나타나지 않으면
다른 여사건 구성원의 표현형과 동일한 자녀 또한 나타나지 않는다. (\because 평균 동일)

심화 가계도

심화 가계도
Schema 4

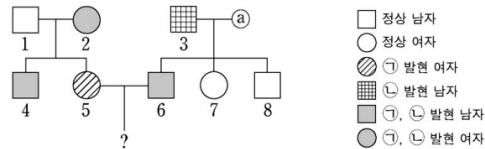
추가 조건

[중요도 ★★★]

- 모든 연관된 상황은 추가 조건이 없다면 독립인 상황처럼 해석할 수 있다.
그에 따라 연관을 규명하기 위해서는 추가 조건이 필요하다.

예 연관 추가 조건

- ㉠은 대립 유전자 A와 A*에 의해, ㉡은 대립 유전자 B와 B*에 의해 결정된다. A는 A*에 대해, B는 B*에 대해 각각 완전 우성이다.
- 가계도는 구성원 ㉢를 제외한 구성원 1~8에게서 ㉠과 ㉡의 발현 여부를 나타낸 것이다.



- 1, 2, 5 각각의 체세포 1개당 A*의 DNA 상대량을 더한 값
3, 6, 7 각각의 체세포 1개당 A*의 DNA 상대량을 더한 값
이다.
- 체세포 1개당 B*의 DNA 상대량은 2에서가 5에서보다 크다.
- 5에서 생식 세포가 형성될 때, 이 생식 세포가 A와 B*를 모두
가질 확률은 $\frac{1}{2}$ 이다.

5의 유전자형은 AA*BB*이고 자료 해석을 통해 ㉠이 X 염색체 유전임을 알 수 있다.

이때 마지막 조건이 없으면 유전자 간 관계가 독립인지 연관인지 규명되지 않는다.
마지막 조건에 의해 5에서 AB*/A*B*으로 X 염색체 위에 연관되어 있음이 규명된다.

- 형질 발현 관점에서 상염색체 유전과 X 염색체 유전은 부분집합 관계에 있다.

⇒

- ㉠ 어떤 형질에 대해 우성 대립유전자, D에 대한 조건만 주어져 있으면
㉠은 상염색체 유전이다.

⇔

남성 구성원의 열성 대립유전자, R에 대한 정보가 상수 조건이 아니면
성염색체 유전임을 직접 규명할 수 없다.

심화 가계도
Schema 4

추가 조건

예 연관 귀류의 연역적 해석

○ (가)는 대립유전자 H와 h에 의해, (나)는 대립유전자 T와 t에 의해 결정된다. H는 h에 대해, T는 t에 대해 각각 완전 우성이다.

○ 가계도는 구성원 ⑤를 제외한 구성원 1~7에게서 (가)와 (나)의 발현 여부를 나타낸 것이다.

○ 표는 구성원 1, 3, 6, ⑤에서 체세포 1개당 ㉠과 ㉡의 DNA 상대량을 더한 값을 나타낸 것이다. ㉠은 H와 h 중 하나이고, ㉡은 T와 t 중 하나이다.

구성원	1	3	6	⑤
㉠과 ㉡의 DNA 상대량을 더한 값	1	0	3	1

㉠ + ㉡의 DNA 상대량을 더한 값 조건에 의해 1, 3, 6, ⑤의 유전자형이 결정되고 (가)의 유전자가 X 염색체 위에 있음이 규명된다.

Sol 1)

두 형질에 관여하는 유전자가 모두 X 염색체 위에 있다고 가정하면 가계도 형질 발현 여부에 모순이 일어나 두 형질에 관여하는 유전자는 서로 다른 염색체 위에 있어야 한다.

Sol 2)

유전자형 결정 조건 외에 추가 조건이 없으므로 (나)의 유전자는 X 염색체와 다른 염색체인 상염색체 위에 있어야 한다.

Sol 3)

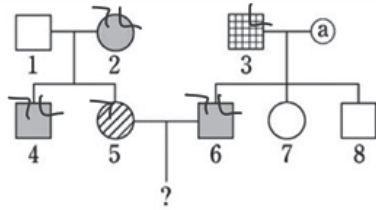
㉡은 우성 대립유전자 T이다.
이때 Y 염색체는 열성 대립유전자와 형질 발현 관점에서 구분되지 않는다.
그에 따라 추가 조건이 없으므로 (나)는 상염색체 위에 있어야 한다.

심화 가계도
Schema 8

열성 염색체 흐름

- 3세대에 걸쳐 열성 염색체 흐름이 관찰될 수 있다.

(가), (나)는 X 염색체 연관, $A > a$, $B > b$



$\begin{array}{|c|} \hline \neg \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \text{X} \\ \end{array}$

2

$\begin{array}{|c|} \hline \neg \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \text{Y} \\ \end{array}$

⑥

$\begin{array}{|c|} \hline \neg \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \text{X} \\ \end{array}$

9

⇒ 4 - 7에서 (나)는 우성 형질

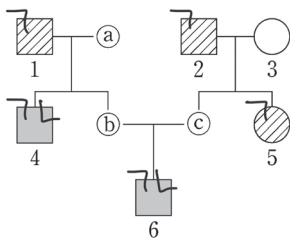
⇒ ⑥ - 6 - 9에서 ⑥는 (가), (나) 모두 발현 by 상증명의 역이용

⇒ ⑥는 \neg 발현, 2와 9는 \neg 미발현

∴ \neg 은 열성 대립유전자, 2와 9는 (가)에 대해 우성 표현형

∴ (가)에 대한 우성 대립유전자 by 구성원 6

예 (가), (나)는 X 염색체 연관, $A > a$, $B > b$, ⑥는 남자



$\begin{array}{|c|} \hline \neg \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \text{Y} \\ \end{array}$

2

$\begin{array}{|c|} \hline \neg \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \text{X} \\ \end{array}$

3

$\begin{array}{|c|} \hline \neg \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \text{Y} \\ \end{array}$

⑥

$\begin{array}{|c|} \hline \neg \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \text{X} \\ \end{array}$

③

$\begin{array}{|c|} \hline \neg \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \text{X} \\ \end{array}$

5

$\begin{array}{|c|} \hline \neg \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} \text{Y} \\ \end{array}$

6

① 2의 X 염색체 U 6의 X 염색체 = ③의 X 염색체 조합

② 6의 X 염색체 유래 by 2의 아내

③ 3 - ③ - 6 열성 염색체 (\neg L) 흐름

∴ (가), (나)는 모두 열성 형질 (∴ 구성원 3)

심화 가계도

심화 가계도
Schema 8

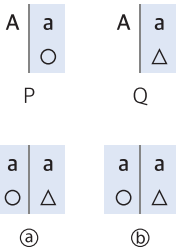
열성 염색체 흐름

- 우열의 원리에 의한 열성 염색체 흐름은 Case 1으로 귀결되므로
연관된 유전자에 의한 형질 발현이 동일해야 한다.

예 (가), (나), (다) 중 2개는 7번 염색체, 1개는 X 염색체 유전 $A > a$, $B > b$, $D > d$

구성원	성별	(가)	(나)	(다)
아버지	남	○	×	×
어머니	여	○	○	○
자녀 1	남	○	○	○
자녀 2	여	×	×	×
자녀 3	남	×	×	○

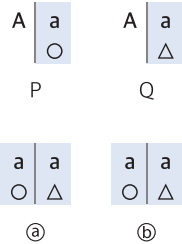
(○: 발현됨 ×: 발현 안 됨)



⇒ 아버지 - 어머니 - 자녀 2(女)에서 (가)는 상염색체 열성 형질
⇒ 자녀 2와 자녀 3의 상염색체 형질 발현 동일

구성원	성별	(가)	(나)	(다)
자녀 2	여	×	×	×
자녀 3	남	×	×	○

(○: 발현됨 ×: 발현 안 됨)



∴ (가)와 (나)는 7번 염색체, 여사건 (다)는 X 염색체 유전

심화 돌연변이

심화 돌연변이
Schema 1

돌연변이의 전제

[중요도 ★★★★★]

- 돌연변이(Mutation)의 전제는 정상 자손과 구분되는 상태이다.
만약 정상 자손과 두드러지지 않거나 정상 자손과 동일한 상태가 가능하다면
돌연변이가 무작위로 나타나도 가능해서 자료 내 경우의 수 압축이 불가능하다.

[다인자 비분리 돌연변이]

극단적 표현형

- 예 표현형 범위 0~4, 아버지 표현형 [1], 어머니 표현형 [2], Mt 자녀 표현형 [4]
- 예 2연관 1독립, 아버지 표현형 [3], 어머니 표현형 [3], Mt 자녀 표현형 [8]

[복대립 가계도 돌연변이]

정상 유전으로 나타날 수 없는 표현형

- 예 아버지 유전자형 DE, 어머니 유전자형 GG, Mt 자녀 유전자형 DD

[사람의 유전병]

정상 유전으로 나타날 수 없는 표현형

- 예 아버지 성염색체 조합 DY, 어머니 성염색체 조합 RR,
클라인펠터 자녀 표현형 [D]

⇒ 아버지 성염색체 비분리 [감수 1분열 비분리]

⇒ 클라인펠터 자녀의 성염색체 조합 DRY

- 예 아버지 성염색체 조합 DY, 어머니 성염색체 조합 RR,
터너 자녀 표현형 [D]

⇒ 어머니 (-) 방향 성염색체 비분리

예

	$\begin{array}{c c} 1 & Y \\ 1 & \end{array}$	$\begin{array}{c c} 1 & Y \\ 0 & \end{array}$	$\begin{array}{c c} 0 & Y \\ 1 & \end{array}$	$\begin{array}{c c} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{array}$
	아버지	자녀 1 (정상)	자녀 2 (정상)	자녀 3 (Mt)
성별	남	남	남	남

⇒ 자녀 3 클라인펠터 증후군

⇒ 어머니 성염색체, 감수 1분열 비분리